

METHOD AND APPARATUS FOR FORMING A METAL LAYER

Publication number: JP2001525492T

Publication date: 2001-12-11

Inventor:

Applicant:

Classification:

- International: C23C16/02; C23C16/14; H01J37/32; H01L21/28;
H01L21/285; C23C16/02; C23C16/06; H01J37/32;
H01L21/02; (IPC1-7): C23C16/14; C23C16/02;
H01L21/285

- European: H01J37/32H1; C23C16/14; H01L21/285B4H

Application number: JP20000523397T 19981106

Priority number(s): JP19970984438 19971203; WO1998US23632
19981106

Also published as:



WO9928527 (A1)

US6271129 (B1)

Report a data error here

Abstract not available for JP2001525492T

Abstract of corresponding document: **WO9928527**

A method for forming a refractory metal layer that features two-stage nucleation prior to bulk deposition of the same. The method includes placing a substrate in a deposition zone, flowing, into the deposition zone during a first deposition stage, a silicon source, such as a silane gas, and a tungsten source, such as tungsten-hexafluoride gas, so as to obtain a predetermined ratio of the two gases therein. During a second deposition stage, subsequent to the first deposition stage, the ratio of the two gases is varied. Specifically, in the first deposition stage there is a greater quantity of silane gas than tungsten-hexafluoride gas. In the second deposition stage there may be a greater quantity of tungsten-hexafluoride than silane.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2001-525492

(P2001-525492A)

(43) 公表日 平成13年12月11日 (2001.12.11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テラコート [®] (参考)
C 2 3 C 16/14		C 2 3 C 16/14	4 K 0 3 0
16/02		16/02	4 M 1 0 4
H 0 1 L 21/285	3 0 1	H 0 1 L 21/285	3 0 1 R

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2000-523397(P2000-523397)
 (86) (22) 出願日 平成10年11月6日(1998.11.6)
 (85) 翻訳文提出日 平成12年6月5日(2000.6.5)
 (86) 国際出願番号 P C T / U S 9 8 / 2 3 6 3 2
 (87) 国際公開番号 W O 9 9 / 2 8 5 2 7
 (87) 国際公開日 平成11年6月10日(1999.6.10)
 (31) 優先権主張番号 0 8 / 9 8 4 , 4 3 8
 (32) 優先日 平成9年12月3日(1997.12.3)
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)
 (81) 指定国 J P

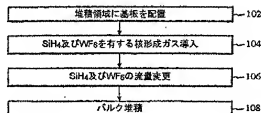
(71) 出願人 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
 APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
 (72) 発明者 グハナイエム, スティーヴ
 アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
 サニヴェイル, オンタリオ ドライブ
 1576 サンバー10
 (74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属層を形成する方法及び装置

(57) 【要約】

高融点金属層のバルク堆積に先立つ二段階形成を特徴とする、高融点金属層を形成する方法。本方法は、堆積領域内に基板を置くことと、第1の段階中にシランガスといったシリコン源とタングステン・ヘキサフルオライド・ガスといったタングステン源とを前もって決められたこれら二つのガスの比率を得るようにその堆積領域内に流すことを含んでいる。第1の堆積段階に続く第2の段階では、これら二つのガスの比率は変更される。特に第1の堆積段階では、タングステン・ヘキサフルオライド・ガスより多量のシランガスが存在する。第2の堆積段階では、シランガスより多量のタングステン・ヘキサフルオライド・ガスが存在し得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板に核形成する方法であって、

堆積領域に基板を置くステップと、

第1の堆積段階中に、シリコン源とタングステン源とを、前記シリコン源対前記タングステン源の、前もって決められた比率を得るように前記堆積領域内に流し込むステップと、

前記第1の堆積段階に続く第2の堆積段階中に、前記シリコン源対前記タングステン源の前記比率を減少させるステップとを含む方法。

【請求項2】 前記比率は、前記第1の堆積段階中に、4:1よりも大きい、請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記比率は、前記シリコン源対前記タングステン源の相対流量で定義され、前記第1の堆積段階中の前記シリコン源対前記タングステン源の前記流量は約5 sccm対30 sccmであることとを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項4】 前記比率は、前記第1の堆積段階中に1.5:1よりも小さい、請求項1に記載の方法。

【請求項5】 前記シリコン源はシランを含み、前記タングステン源はタングステン・ヘキサフルオライドを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項6】 関連する圧力を有する雰囲気が前記堆積領域を取り巻いており、更に前記第1の堆積段階に続いて、前記圧力を増加させるステップを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項7】 前記第2の堆積段階は、前記第1の堆積段階が開始された時から約3秒～10秒後に開始される、請求項1に記載の方法。

【請求項8】 前記第1、第2の堆積段階の両者は、共通の温度で行われる、請求項1に記載の方法。

【請求項9】 前記共通の温度は、約300～500℃である、請求項8に記載の方法。

【請求項10】 基板上にタングステン層を堆積するための化学気相堆積（

CVD) プロセスの方法であって、

堆積領域に基板を置くステップと、

第1の堆積段階中に、シリコン源とタングステン源とを、前記シリコン源対前記タングステン源の前もって決められた比率を得るように前記堆積領域内に流し込むステップと、

前記第1の堆積段階に続く第2の堆積段階中に、前記シリコン源対前記タングステン源の前記比率を減少させるステップと

前記第2の堆積段階に続く第3の堆積段階中に、

(i) タングステン化合物と還元剤とを含むプロセスガスを前記堆積領域に導入し、

(ii) 前記基板上にタングステン層を堆積させるために適したプロセス条件に前記堆積領域を維持するステップと
を含む前記方法。

【請求項11】 前記比率は前記第1の堆積段階中に4:1よりも大きいことと、前記比率は前記第2の堆積段階中に1:5よりも小さい、請求項10に記載の方法。

【請求項12】 前記比率は、前記シリコン源対前記タングステン源の相対流量で定義されることと、前記第1の堆積段階のときの前記シリコン源対前記タングステン源の前記流量は約5 sccm対30 sccmであることを特徴とする、請求項10に記載の方法。

【請求項13】 前記第1の堆積段階の終了時に、50~100オングストロームの範囲内の厚さを有する高融点金属フィルム層が前記基板上に形成される、請求項10に記載の方法。

【請求項14】 前記第2の堆積段階の終了時に、前記高融点金属フィルム層の厚さは450~550オングストロームの範囲内にある、請求項13に記載の方法。

【請求項15】 関連する圧力を有する雰囲気の前記堆積領域を取り巻いており、更に前記第1の堆積段階に続いて、前記圧力を増加させるステップを含む、請求項14に記載の方法。

【請求項16】 前記第2の堆積段階は、前記第1の堆積段階が開始された時から約3秒～10秒後に開始される、請求項10に記載の方法。

【請求項17】 前記タングステン層は、約 $3 \times 10^3 \text{ dynes/cm}^2$ だけ減少した、それに関連の応力を有する、請求項14に記載の方法。

【請求項18】 基板上にタングステン層を堆積するための化学気相堆積 (CVD) プロセスの方法であって、

堆積領域に基板を置くステップと、

第1の堆積段階中に、シリコン源を前記堆積領域内に導入することによってアモルファスシリコン層を前記基板上に形成するステップと、

前記第1の堆積段階に続く第2の堆積段階中に、タングステン源と第1の還元剤とを前記堆積領域内に導入するステップと、

前記第2の堆積段階に続く第3の堆積段階中に、タングステン化合物と第2の還元剤とを含むプロセスガスを前記堆積領域内に導入するステップと、

前記基板上にタングステン層を堆積させるために適したプロセス条件に前記堆積領域を維持するステップと
を含む前記方法。

【請求項19】 前記シリコン源はシランを含み、前記タングステン源はタングステン・ヘキサフルオライドを含む、請求項15に記載の方法。

【請求項20】 真空チャンバを形成するハウジングと、

前記真空チャンバ内に基板を保持するための、前記ハウジング内に配置された基板保持具と、

前記基板を前記真空チャンバ内に移動させて、前記基板を前記基板保持具上に位置決めするための基板移動システムと、

前記基板上に層を堆積するために前記真空チャンバ内にプロセスガスを導入するためのガス給送システムと、

前記真空チャンバ内の選択された温度を維持するための温度制御システムと、

前記真空チャンバ内の選択された圧力を維持するための圧力制御システムと、

前記基板移動システムと前記ガス給送システムと前記温度制御システムと前記圧力制御システムとを制御するためコントローラと、

前記化学気相堆積（CVD）リアクタ・システムの動作を指示するための、コンピュータ読取り可能なプログラムを媒体内に具現している、コンピュータ読取り可能な媒体を含む、前記コントローラに接続されたメモリと、を含む基板処理システムであって、

前記コンピュータ読取り可能なプログラムは、

前記基板を前記基板保持具上に移動させて前記堆積領域内に入れるように前記基板移動システムを制御するための第1の命令セットと、

第1の堆積段階中に、シリコン源とタングステン源とを、前記シリコン源対前記タングステン源の前もって決められた比率を得るように前記真空チャンバ内に導入するように前記ガス給送システムを制御するための第2の命令セットと、

前記第1の堆積段階に続く第2の堆積段階中に、前記真空チャンバ内に存在する前記シリコン源対前記タングステン源の前記比率を増加させるように前記ガス給送システムを制御するための第3の命令セットと、

前記第2の堆積段階に続く第3の堆積段階中に、タングステン化合物と還元剤とを含むプロセスガスを前記真空チャンバ内に導入するように前記ガス給送システムを制御するための第4の命令セットと、

前記第3の堆積段階中に、前記基板上にタングステン層を堆積させるために適した、前記真空チャンバ内の選択された温度と圧力とを維持するように前記温度制御システムと前記圧力制御システムとを制御するための第5の命令セットとを含む前記基板処理システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の背景】

本発明は、集積回路の製造に関する。特に本発明は、良好なギャップ充填特性を備えつつ、減少した応力を有する改良された高融点金属層を形成するための方法と装置とを含む手法を提供する。

【0002】

半導体基板の上にタングステンといった高融点金属を堆積することは、幾つかの集積回路（IC）構造の形成における共通のステップである。例えばタングstenは、半導体基板の各部に電気接点を設けるために一般的に使用される。これらの電気接点は通常、基板上に形成される、二酸化シリコン層といった絶縁層に明けられた開口部を通して与えられる。このような接点を形成するために使用される一つの方法としては、開口部に窒化チタンの初期層を堆積した後に、その開口部を充填するタングステンの化学気相堆積（CVD）法がある。他の例としては、半導体基板上に金属線を形成するためにタングステンを使用することがある。

【0003】

半導体産業においてタングステン薄膜を堆積するために採用されてきた一つのCVD手法は、前駆物質ガスとしてタングステン・ヘキサフルオライド・ガス（WF₆）と水素還元剤、例えばH₂とを使用する。この手法は、核形成とバルク堆積という二つの主要ステップを含んでいる。核形成ステップは、後続の薄膜のために成長箇所として機能するタングステンの薄層を成長させる。WF₆とH₂とに加えてこの手法の核形成ステップで使用されるプロセスガスはシラン（SiH₄）を含んでおり、また窒素（N₂）とアルゴンとを含むこともある。それからタングステン薄膜を形成するためにバルク堆積が使用される。バルク堆積ガスは、WF₆とH₂とN₂とArとを含む混合ガスである。

【0004】

集積回路技術の進歩は、素子寸法の縮小と、チップサイズと複雑さの増加とをもたらした。これは、ギャップ充填特性を向上させ、高融点金属の応力を減少さ

せるために、高融点金属、特にタングステンの低温堆積のための改良された方法を必要としている。この応用を目的として、低温堆積は、400℃以下の温度で起こる堆積プロセスと定義されている。ギャップ充填特性と応力とは伝統的に、高融点金属層の矛盾する二つの特性である。例えば従来の低温堆積手法を使って、 $1.5 \times 10^{10} \text{ dynes/cm}^2$ 未満の応力を持った高融点金属層が形成されたが、これらの層のギャップ充填特性は、70%未満に限定されている。その代替として前述の従来技術の堆積手法を使用して、90%を超えるギャップ充填特性を有する高融点金属層が形成された。しかしながらこれらの層は一般に、 $1.5 \times 10^{10} \text{ dynes/cm}^2$ より遙かに大きい応力を示している。

【0005】

したがって必要なことは、低減された応力と優れたギャップ充填特性とを有する高融点金属層の迅速形成を可能にする低温堆積プロセスである。

【0006】

【発明の概要】

本発明は、良好なギャップ充填特性を維持しながら低減された応力を有する高融点金属層を形成する方法を提供する。本方法は、高融点金属のバルク堆積に先立って二段階核形成ステップを含むことによってこれを行う。

【0007】

本発明の方法は、堆積領域内に基板を置くことと、第1の堆積段階中にシランガスといったシリコン源とタングステン・ヘキサフルオライド・ガスといったタングステン源とを、前記基板表面の核形成を開始するためにこれら二つのガスの前もって決められた比率を得るようにその堆積領域内に流し込むことを含んでいる。第1の堆積段階に続く第2の堆積段階では、これら二つのガスの比率を変更して核形成プロセスが続行される。第1の堆積段階では、タングステン・ヘキサフルオライド・ガスより多量のシランガスが存在する。第2の堆積段階では、シランガスより多量のタングステン・ヘキサフルオライド・ガスが存在する。また第1、第2の堆積段階中にガスの流れを安定化するためにアルゴンといった追加の不活性ガス源及び／またはH₂といった追加の還元剤が導入されることもある。

【0008】

本発明による方法の一例示的实施形態では、異方性表面を有する基板が、基板処理チャンバの堆積領域に置かれる。シランガスとタングステン・ヘキサフルオライド・ガスはそれぞれ、約25~35 sccmと2~7 sccmで堆積領域内に流し込まれる。この仕方では、堆積領域におけるシランガス対タングステン・ヘキサフルオライド・ガスの流量比は4.0 : 1.0より大きい。第2の堆積段階のときは、シランガス対タングステン・ヘキサフルオライド・ガスの比率がそれぞれの12~17 sccmと25~35 sccmという流量によって0.5 : 1.0より小さくなるように、前述の流量比が変えられる。第2の堆積段階に続いて、基板上に金属タングステン層を形成するためにバルク堆積段階が行われる。バルク堆積段階のとき、代表的にはアルゴンと窒素とタングステン・フルオライド・ガスと水素ガスなどの還元剤とを含むプロセスガスが堆積領域に導入される。それから堆積領域は、基板上にタングステン層を堆積するために適したプロセス条件に維持される。

【0009】

本発明のこれら及び他の実施形態ならびに発明の利点と特徴は、以下の本文と付属図面とに関連して更に詳細に説明される。

【0010】

【好適な実施形態の詳細な説明】

1. はじめに

本発明は、低減された応力と優れたギャップ充填特性とを有する高融点金属層の堆積を可能にする。この方法によって堆積された層は、 $2 \times 10^9 \text{ dynes/cm}^2$ と $4 \times 10^9 \text{ dynes/cm}^2$ との間に低減された引張り応力を有するタングステン層を与えながら、1 : 1から5 : 1の範囲のアスペクト比を有するトポグラフィ（形状）に関して90%を超えるギャップ充填を達成することができる。

【0011】

1.1. 例示的なCVDリアクタ・チャンバ

図1A、1Bは、本発明による高融点金属層を堆積できる真空チャンバ12を

有する平行平板型コールドウォール化学気相堆積システム10の一実施形態を示す。CVDシステム10は、抵抗加熱サセプタ18上に置かれたウェーハ16に堆積ガスを分散させるためのガス分配マニホールド14を含んでいる。

【0012】

処理チャンバ12は、中央トランスファ・チャンバに連結されていてロボットに作業をさせる多数の処理チャンバを有する真空処理システムの一部であることもある。基板16は、このチャンバの側壁のスリットバルブ（図示せず）を介してロボット・ブレードによってチャンバ12内に入れられる。サセプタ18は、電動機20によって上下に動くことができる。基板16は、スリットバルブに向き合って配置される基板を有する第1の位置16'にサセプタ18が存在するときに、チャンバ内に入れられる。位置16'で基板16は最初、サセプタ18を貫通してそれに連結されている一組のピン22によって支持される。ピン22は、単一の電動機組立てによって駆動される。サセプタ18は、点線で示されるようにガス分配マニホールド14に向き合う処理位置32に持ってこられるので、ピン22は、サセプタ18内に沈み込み、基板16はサセプタ上に置かれる。一旦、サセプタ18上に位置決めされると基板16は、図1Bに更に明瞭に溝50として示されている真空クランプ・システムによってサセプタに取り付けられる。

【0013】

図1A、1Bの両者を参照すれば、処理位置32に向かって上方へ移動すると基板16は、パージガイド54に接触し、これが基板16をサセプタ18の中心に合わせる。エッジのパージガス23は、堆積ガスが基板のエッジと裏面にに接触するのを防止するために基板16のエッジ全域に亘るパージガイド54を通して流れる。パージガス25もまた、ヒータ／サセプタの上と周囲への堆積を最小にするためにヒータ／サセプタ18の周りを流れる。これらのパージガス25は、パージ・ラインから供給されて、処理中にチャンバ内に導入された腐食性ガスによる損傷からステンレス鋼のペローズ26を保護するためにも使用される。

【0014】

堆積ガスとキャリアガスは、バルブ17の制御に応じてマニホールド14への

ガスライン19を介してチャンバの堆積領域に供給される。処理中、マニホールド14に供給されたガスは、矢印27によって示されるように、基板の表面全域に均一に分散される。消費されたガスと副産物ガスは、排気システム36によってチャンバから排気される。ガスが排気システム36を通して排気ライン内に放出される流量は、スロットルバルブ（図示せず）によって制御される。処理中、サセプタ内のガスチャネル（図示せず）と供給ラインとを通る第2のバージガスは、前述のようにウェーハ16のエッジに対してバージガスを供給する。チャンバのプラズマCVD（PECVD）洗浄のために備えられるRF（高周波）電源48は、マニホールド14に接続することができる。

【0015】

スロットルバルブ（図示せず）とガス供給バルブ17と電動機20とサセプタ18に連結された抵抗加熱ヒータとRF（高周波）電源48とCVDシステム10のその他の態様は、制御線44（その一部のみ図示）を介してシステム・コントローラ42によって制御される。このシステム・コントローラ42は、メモリ46といったコンピュータ読取り可能な媒体に記憶されたコンピュータ・プログラムの制御下で動作するプロセッサ45を含んでいる。コンピュータ・プログラムは、温度とチャンバ圧力とタイミングとガスの混合比とRF（高周波）電力のレベルとサセプタ位置と特定のプロセスのその他のパラメータとを確定する。このコンピュータ・プログラムは、例えば68000アセンブリ言語、C、C++、パスカル、フォートラン、その他といった従来のコンピュータ読取り可能な如何なるプログラミング・コードで書かれていてもよい。適当なプログラム・コードは、従来のテキスト・エディタを使って単一のファイルまたは多数のファイルに入れられ、コンピュータのメモリシステムといったコンピュータが使用可能な媒体に格納あるいは収録される。もし入力されたコード・テキストが高級言語で書かれていれば、そのコードはコンパイルされ、その結果得られたコンパイラコードはその後、プリコンパイルされたWindows（商標）ライブラリ・ルーチンのオブジェクトコードにリンクされる。このリンクされてコンパイルされたオブジェクトコードを実行するためにシステムのユーザは、オブジェクトコードを呼び出して、コンピュータシステムにそのコードをメモリ内にロードさせる。

それからプロセッサ45は、プログラム内の識別されたタスクを実行するためにそのコードを読み取って実行する。

【0016】

コンピュータ・プログラムを格納するために採用されたメモリ46は、フロッピーディスクドライブ、テープドライブその他の記憶媒体を含むことができる。一般的にシステム・コントローラ42のコンポーネントは、シングルボード・コンピュータ(SBC)とアナログ及びデジタル入出力ボードとインタフェース・ボードとパルスモータ制御ボードとからなる。CVDシステム10の種々の部品は、ボードとカードケースとコネクタの寸法と型とを定義しているベルサモジュラヨーロッパアン(Versa Modular European)(VME)規格に準拠している。このVME規格はまた、16ビット・データバスと24ビット・アドレスバスとを有するようなバス構造も定義している。

【0017】

図1A、1Cを参照すれば、ユーザとシステム・コントローラ42との間のインタフェースは、CRTモニタ60aとライトペン60bとを介して行われる。好適な実施形態では、二つのモニタ60aが使われ、一つはオペレータ用にクリーンルームの壁に取り付けられ、他はサービス技術者のために壁の後側に置かれる。これらのモニタ60aは同時に同じ情報を表示するが、ライトペン60bは、1個だけが使用可能である。ライトペン60bの先端の光センサは、CRTディスプレイから放射される光を検出する。ある特定の画面または機能を選択するために、オペレータは表示画面の指定された領域にタッチしてペン60bのボタンを押す。タッチされた領域は、そのハイライト・カラーを変化させるか、あるいは新しいメニューまたは新しい画面が表示され、ライトペンと表示画面との間の通信が確認される。ユーザがコントローラ42と通信することを可能にするために、ライトペン60bの代わりに、あるいはそれに加えてキーボード、マウス、その他のポインティング装置または通信装置といった他の装置を使ってもよい。

【0018】

図1C、1Dを参照すれば、ユーザはライトペン・インタフェースを使って、

CRTモニタ上に表示されたメニューまたは画面に応じて、コンピュータ・プログラム70のプロセス・セクタ・サブルーチン73内にプロセス・セット番号とプロセス・チャンパ番号とを入力する。プロセス・セットは、指定されたプロセスを実行するために必要なプロセス・パラメータの前もって決められたセットであって、事前に定義されたセット番号によって識別される。プロセス・セクタ・サブルーチン73は、(i) 所望のプロセス・チャンパと(ii) 所望のプロセスを実行するためのプロセス・チャンパを操作するために必要とされるプロセス・パラメータの所望のセットとを識別する。特定のプロセスを実行するためのプロセス・パラメータは、例えばプロセスガスの組成と流量と、温度と、圧力と、RF(高周波)電力レベルや低周波のRF周波数といったプラズマ条件と、冷却ガス圧力と、チャンパ壁の温度と、といったプロセス条件に関係している。これらのパラメータは、レシピの形でユーザに与えられ、ライトペン/CRTモニタ・インタフェースを利用して入力される。プロセスを監視するための信号は、システム・コントローラのアナログ及びデジタルの入力ボードによって与えられ、またプロセスを制御するための信号は、CVDシステム10のアナログ及びデジタルの出力ボード上に出力される。

【0019】

プロセス・シーケンサ・サブルーチン75は、プロセス・セクタ・サブルーチン73からの識別されたプロセス・チャンパとプロセス・パラメータのセットとを受け入れるためのプログラムコードと種々のプロセス・チャンパの動作を制御するためのプログラム・コードとを含んでいる。多数のユーザがプロセス・セット番号とプロセス・チャンパ番号とを入力でき、あるいは一人のユーザが多数のプロセス・セット番号とプロセス・チャンパ番号とを入力できるので、シーケンサ・サブルーチン75は、所望の順序に選択されたプロセスをスケジュールリングするように動作する。シーケンサ・サブルーチン75は、(i) チャンパが使用中であるかどうかを決定するためにチャンパの動作を監視するステップと、(ii) 使用されているチャンパ内でどのプロセスが実行中であるかを決定するステップと、(iii) プロセス・チャンパの利用可能性と実行すべきプロセスのタイプとに基づいて所望のプロセスを実行するステップとを含むことが好ましい

。ポーリングといった、プロセス・チャンバを監視する従来の方法が使用可能である。どのプロセスを実行すべきかをスケジューリングするときに、プロセス・シーケンサ・サブルーチン75は、選択されたプロセスに関する所望のプロセス条件、あるいは各ユーザが入力した特定の要求の「エージ (age)」、あるいはシステム・プログラマがスケジューリング優先度を決定するために含ませたいと思うその他任意の関連要因などと比較して、使用中のプロセス・チャンバの現在条件を考慮に入れる。

【0020】

図1A、1Dの両図を参照すると、一旦このシーケンサ・サブルーチン75が次にどのプロセス・チャンバとプロセス・セットとの組合せを実行しようとしているかを決定すると、プロセス・シーケンサ・サブルーチン75は、特定のプロセス・セット・パラメータをチャンバ・マネージャ・サブルーチン77a-cに渡すことによって、このプロセス・セットの実行を開始する。このチャンバ・マネージャ・サブルーチン77a-cは、プロセス・シーケンサ・サブルーチン75によって決定されたプロセス・セットにしたがってプロセス・チャンバ12内の多数のプロセス作業を制御するものである。例えばチャンバ・マネージャ・サブルーチン77aは、プロセス・チャンバ12内のスパッタリングとCVDプロセス操作とを制御するためのプログラム・コードを含んでいる。チャンバ・マネージャ・サブルーチン77はまた、選択されたプロセス・セットを実行するために必要なチャンバ・コンポーネントの動作を制御する種々のチャンバ・コンポーネント・サブルーチンの実行を制御する。

【0021】

チャンバ・コンポーネント・サブルーチンの例としては、幾つかの実施形態における基板位置決めサブルーチン80とプロセスガス制御サブルーチン83と圧力制御サブルーチン85とヒータ制御サブルーチン87とプラズマ制御サブルーチン90とがある。当業者であれば、プロセス・チャンバ12内でどのプロセスを実行すべきかによって、その他のチャンバ制御サブルーチンを含み得ることは直ちに理解するであろう。操作時に、チャンバ・マネージャ・サブルーチン77aは、実行される特定のプロセスにしたがってプロセス・コンポーネント・サブ

ルーチンを選択的にスケジューリングするか、あるいは呼び出す。シーケンサ・サブルーチン75が次にどのプロセス・チャンバ12とプロセス・セットとを実行すべきかをスケジューリングするのと同じように、チャンバ・マネージャ・サブルーチン77aは、プロセス・コンポーネント・サブルーチンをスケジューリングする。一般にチャンバ・マネージャ・サブルーチン77aは、種々のチャンバ・コンポーネントを監視するステップと、実行すべきプロセス・セットに関するプロセス・パラメータに基づいてどのコンポーネントを操作する必要があるかを決定するステップと、これら監視するステップと決定するステップとに応じてチャンバ・コンポーネント・サブルーチンを実行するステップとを含んでいる。

【0022】

さて図1A、1Dを参照しながら、特定のチャンバ・コンポーネント・サブルーチンの動作を説明する。基板位置決めサブルーチン80は、サセプタ18上に基板16をロード（積載）することと、任意選択的に、チャンバ12内に所望の高さに基板を持ち上げて基板とガス分配マニホールド14との間の間隔を制御することのために使用されるチャンバ・コンポーネントを制御するためのプログラム・コードを含んでいる。基板がプロセス・チャンバ12内にロードされるとサセプタ18が降下してこの基板を受け、それからサセプタ18はCVDプロセスの間中、基板をガス分配マニホールドから第1の距離あるいは間隔に保持するために、チャンバ内の所望の高さに上昇する。運転中、基板位置決めサブルーチン80は、チャンバ・マネージャ・サブルーチン77aから渡された支持高さに関するプロセス・セット・パラメータに応じてサセプタ18の動きを制御する。

【0023】

プロセスガス制御サブルーチン83は、プロセスガスの組成と流量とを制御するためのプログラム・コードを持っている。プロセスガス制御サブルーチン83は、安全遮断弁の開閉位置を制御し、また所望のガス流量を得るためにマスフロー・コントローラの立上げ／立下げを行う。プロセスガス制御サブルーチン83は、すべてのチャンバ・コンポーネント・サブルーチンと同様にチャンバ・マネージャ・サブルーチン77aによって呼び出され、チャンバ・マネージャ・サブルーチンから所望のガス流量に関するプロセス・パラメータを受け取る。一般に

プロセスガス制御サブルーチン83は、ガス供給ラインを開くことにより、また (i) 必要なマスフロー・コントローラを読み取ることと、(ii) その読みをチャンバ・マネージャ・サブルーチン77aから受け取った所望の流量と比較することと、(iii) 必要に応じてガス供給ラインの流量を調整することとを反復することによって動作する。更にプロセスガス制御サブルーチン83は、危険な流量に関してガス流量を監視するステップと、危険な条件が検出されたときに安全遮断弁を起動するステップとを含んでいる。

【0024】

幾つかのプロセスでは、反応性プロセスガスが導入される前にチャンバ内の圧力を安定化するためにチャンバ12内にヘリウムまたはアルゴンといった不活性ガスが流入される。これらのプロセスに関してプロセスガス制御サブルーチン83は、チャンバ内の圧力を安定化するために必要な時間の長さだけチャンバ12内に不活性ガスを流入するステップを含むようにプログラムされており、その後前述の各ステップが実行されるであろう。

【0025】

圧力制御サブルーチン85は、チャンバの排気システム内のスロットルバルブの開口のサイズを調整することによってチャンバ12内の圧力を制御するためのプログラム・コードを含んでいる。このスロットルバルブの開口のサイズは、全体のプロセスガス流量とプロセス・チャンバのサイズと排気システムのポンピング設定圧力とに関する所望レベルにチャンバ圧力を制御するように設定される。圧力制御サブルーチン85が呼び出されると、所望の、あるいは目標の圧力レベルが、チャンバ・マネージャ・サブルーチン77aからのパラメータとして受け取られる。圧力制御サブルーチン85は、チャンバに接続された一つ以上の従来型圧力マノメータを読み取ることによってチャンバ12内の圧力を測定することと、この測定値を目標圧力と比較することと、記憶された圧力テーブルからこの目標圧力に対応するPID（比例、積分、微分）値を取得することと、この圧力テーブルから得たPID値にしたがってスロットルバルブを調整することとを行うように動作する。その代替として圧力制御サブルーチン85は、チャンバ12を所望の圧力に調整するためにスロットルバルブをある特定の開口サイズに開い

たり閉じたりするように書かれることも可能である。

【0026】

ヒータ制御サブルーチン87は、基板20を加熱するために使われる加熱装置への電流を制御するためのプログラム・コードを含んでいる。ヒータ制御サブルーチン87もまた、チャンバ・マネージャ・サブルーチン77aによって呼び出されて、目標温度あるいは設定温度パラメータを受け取る。ヒータ制御サブルーチン87は、サセプタ18内に配置された熱電対の電圧出力を測定することと、測定した温度を設定温度と比較することと、設定温度を得るために加熱装置に印加する電流を増加または減少させることとによって、温度を決定する。この温度は、記憶された変換テーブル内で対応する温度を捜し出すことによって、あるいは4次多項式を使って温度を計算することによって測定電圧から得られる。サセプタ18を加熱するために埋込みループが使われるときは、ヒータ制御サブルーチン87は、このループに印加する電流の上げ下げを徐々に制御する。更に、プロセスの安全遵守を検出するために内蔵型のフェイルセーフ方式を含ませることができ、これは、プロセス・チャンバ12が正しく起動されなかった場合に加熱装置の動作を停止させることができる。

【0027】

幾つかの実施形態では、チャンバ12は、チャンバの洗浄、その他の操作のために使われるRF（高周波）電源48を備えている。チャンバ洗浄プラズマ・プロセスが採用されるときには、プラズマ制御サブルーチン90は、チャンバ12内のプロセス電極に印加される周波数RF電力レベルを設定するためのプログラム・コードを含んでいる。前述のチャンバ・コンポーネント・サブルーチンと同様にプラズマ制御サブルーチン90は、チャンバ・マネージャ・サブルーチン77aによって呼び出される。

【0028】

前述のCVDシステムの説明は、主として例示的を目的としており、本発明の範囲を限定するものと考えるべきではない。プラテンまたはサセプタ設計、ヒータ設計、RF電源接続の位置その他の変形といった前述のシステムの変形は可能である。本発明によるタングステン層を堆積する方法は、如何なる特定の処理装

置にも限定されない。

【0029】

III. タングステン層の堆積

本発明の方法は、図1A～1Dを参照しながら前に説明した例示的CVDチャンバといった基板処理チャンバ内で改良されたタングステン層を堆積するために採用することもできる。図2は、高融点金属を堆積すべき基板の表面に核形成するために使用される、本発明の好適なプロセスを示す。ここに説明するプロセスは、TiNといった拡散バリア層の上に堆積される接点を形成するために高融点金属層を使用することに関連している。しかしながらこの説明は例示を目的としており、その理由は、このプロセスは、金属の相互接続線を形成するために半導体基板上に堆積される高融点金属層内の応力を減少させるために採用することもできるからである。該当する場合、以下の説明中の参照番号は、図1A～1Dの例示的チャンバ12の該当するコンポーネントを指すために使われる。このプロセスは、CVDシステム10のメモリ46内に記憶されているコンピュータ・プログラムを使って実現され、制御される。

【0030】

図1A、2、3を参照すると、この方法は、処理位置32の近傍に位置する堆積領域に基板16を置くステップ102を含んでいる。基板は実質的に、如何なる形状（トポグラフィ）を持っていてもよいが、一般的に基板は、図3に更に明瞭に示すように段付き表面を持っている。そのために基板16は、15、19として示される一つ以上の薄膜層を持つことがある。薄膜層15は一般に、本発明を採用して高融点金属層を堆積する前に、エッチングされて一つ以上のバイア21を形成する。基板16が堆積領域内に置かれた後に核形成ガスが導入され、第1の堆積ステップ104を確定する。前述の核形成ガスは、シランガス、SiH₄といったシリコン源と高融点金属源とから構成されている。また核形成ガスには、N₂とH₂とアルゴンガスも含まれている。

【0031】

例示的な実施形態において層15は、二酸化シリコンといった誘電体から形成され、層19は、窒化チタン（TiN）から形成される。したがって層23は、

タングステン・ヘキサフルオライド WF_6 といった高融点金属源から形成される。第1の堆積ステップ104のときには、 SiH_4 対 WF_6 の流量比は、4:1より大きく決めることが好ましい。 SiH_4 対 WF_6 の比率は、それぞれ30 sccmと5 sccmの流量により、6:1であることが更に好ましい。 Ar ガスと N_2 ガスと H_2 ガスとに関する流量は、それぞれ1000 sccmと300 sccmと1000 sccmとである。代表的にはチャンバ12内の雰囲気圧力は、第1の堆積ステップのときに1~200 torrの範囲にあり、好ましくは4.5~30 torrであり、また温度は300~500°Cの範囲にあればよい。例えばチャンバの圧力と温度は、4.5 torrと350°Cであるように決めることができる。 SiH_4 ガスと WF_6 ガスは、温度と形成される層の所望の厚さとの両者に依存する時間の事前に決められた期間だけ、堆積チャンバ内に導入される。例えば50~100オングストロームの範囲の厚さを有するシリコンリッチ層は、前述の温度範囲で3~10秒で形成できる。しかしながら堆積ステップ104は、約5秒の持続時間を有することが好ましい。

【0032】

第1の堆積ステップ104に続いて、 SiH_4 ガスと WF_6 ガスとの流量は、これら二つのガスの流量比が1:1未満になるように減らされ、第2の堆積ステップ106を確定する。 SiH_4 ガスと WF_6 ガスの流量はそれぞれ15 sccmと30 sccmに変更されて、1:2になることが更に好ましい。第2の堆積ステップ106のときには、チャンバ内の雰囲気圧力は、1~200 torrの範囲、好ましくは4.5~30 torrの範囲に増やされる。必要ではないがこの例示の実施形態では、第1の堆積ステップ104と第2の堆積ステップ106との間で一定温度が維持されてもよい。第2の堆積ステップ106の持続時間は代表的には15秒であって、その結果、基板16の表面に、約500オングストロームの厚さを有する層が形成され、核形成層を画定することになる。一つの核形成層の必要な厚さが得られた後、適当なメタライゼーション（配線）層、この場合はタングステン層を形成するバルク堆積ステップ108が開始される。

【0033】

しかしながらその代替として、4.5 torrに維持されたチャンバ圧力で第

2の堆積ステップ106を実行してもよい。この場合、 SiH_4 ガスと WF_6 ガスの好適な比率はなお1:2であるが、 SiH_4 ガスと WF_6 ガスの流量は、それぞれ10sccmと、20sccmである。この結果、堆積時間は長くなり、代表的には30秒になる。

【0034】

バルク堆積ステップ108は、この例ではアルゴンガスArとタングステン・ヘキサフルオライド・ガス WF_6 と水素ガス H_2 といった還元剤とを有するプロセスガスを堆積領域内に導入することを含んでいる。 N_2 ガスと SiH_4 ガスの両者の流入は、チャンバ12の温度に依存して、1000sccmと6000sccmとの間のArガスの流量を有するこのバルク堆積ステップ108のときに終了する。 WF_6 ガスの流量は、60sccmと500sccmとの間であり、好ましくは95sccmである。第1、第2の堆積ステップ104、106と同様にバルク堆積ステップ108の持続時間は、チャンバ12の温度と高融点金属層の所望の厚さとに依存して変化し得る。下記の表1は、400℃で、1:1から5:1の範囲のアスペクト比を有するバイア21といったバイアを充填するために堆積された厚さ2500オングストロームの薄膜層に関する堆積条件を示す。アスペクト比は、バイア21の長さ1対バイア21の幅Wの比の大きさとして定義される。

【0035】

【表1】

ステップ	第1堆積	第2堆積	バルク堆積
時間(秒)	5	15	65
温度(℃)	400	400	400
圧力(Torr)	30	30	90
ヒータ間隙(mil s)	400	400	400
WF_6 (sccm)	5	30	95
H_2 (sccm)	1000	1000	1000-1200
SiH_4 (sccm)	30	10	-
Ar(sccm)	1000	1000	2800
N_2 (sccm)	300	300	-

【0036】

表1に示したプロセスは、図4に更に明瞭に示すように、 $2 \times 10^9 \text{ dynes/cm}^2$ から $4 \times 10^9 \text{ dynes/cm}^2$ の範囲にあるギャップ充填タングステン層23内の全体の応力を減少させるという結果をもたらす。

【0037】

実験では、二段階核形成プロセスを採用して堆積されたタングステン層の、応力と反射率とシート抵抗均一度とを含む種々のパラメータが測定された。結果は、下記のように表2に示す。

【0038】

【表2】

膜堆積	温度 °C	膜厚* (Å)	応力* dynes/cm ²
3000 Å	350	3157	1.52×10^{10}
4000 Å	350	4004	1.47×10^{10}
5000 Å	350	5152	1.39×10^{10}
3000 Å	375	3157	1.47×10^{10}
4000 Å	375	4004	1.42×10^{10}
5000 Å	375	5152	1.38×10^{10}
3000 Å	400	3309	1.47×10^{10}
4000 Å	400	4142	1.29×10^{10}
5000 Å	400	5078	1.20×10^{10}

【0039】

表2に見られるように、二段階核形成プロセスによって堆積されたタングステン層内の応力は、層の厚さとチャンパ12の動作温度とによって変化する。タングステン層内の応力の減少に加えて、二段階核形成プロセスは、従来の手法を使って堆積されたタングステン層のギャップ充填特性と同等のギャップ充填特性を有するタングステン層をもたらす。下記の表3は、従来の手法、すなわち単一の核形成ステップを採用して基板上に堆積されたタングステン層とここに開示した発明にしたがって堆積されたタングステン層との比較を示す。単一の核形成ステップを採用して堆積されたタングステン層は、375°Cでチャンパ12内に導入されたプロセスガスから形成された。このプロセスガスは、それぞれ10 sccm、20 sccm、1000 sccm、300 sccm、及び1000 sccmで流入するSiH₄、WF₆、Ar、N₂、及びH₂のガスから構成されている。

【0040】

表3に示すように、単一核形成ステップで堆積された、厚さ4000オングストロームの高融点金属層の応力は、 $1.8 \times 10^{10} \text{ dynes/cm}^2$ であった。ここに開示された発明にしたがって堆積された高融点金属層は、単一核形成ステップを採用して堆積された高融点金属層よりも $3.8 \times 10^9 \text{ dynes/cm}^2$ だけ小さい応力を示している。

【0041】

【表3】

核形成プロセス	堆積速度 Å/分	応力 dynes/cm ²	ギャップ充填特性
単一段階	170	1.8×10^{10}	100
二段階	1800	1.42×10^{10}	100

【0042】

図5に示す方法を使ってタングステン層23の上に、図4に25で示す相互接続(1C)層を形成することによって、タングステン層の応力は更に低減されることが明らかとなった。ステップ202、204、206、208は、図2で前に示したステップ102、104、106、108と同じである。相互接続層25は、下記の表4に示す第2のバルク堆積ステップ210によって形成される。

【0043】

【表4】

ステップ	第2バルク堆積
時間(秒)	138
温度(°C)	400
圧力(Torr)	90
ヒータ間隙(mils)	400
WF ₆ (sccm)	5-10
H ₂ (sccm)	6000
SiH ₄ (sccm)	-
Ar(sccm)	2800
N ₂ (sccm)	-

【0044】

4に示す層25は、層23の一部分によって層15から離れて間隔を明けて示されているが、一般的に層25は、層15と層23の両者の上に配置される。

【0045】

しかしながら最後に、図5に示すプロセスは、金属の相互接続線を形成するために半導体基板上に堆積された高融点金属層内の応力を減少させるために採用することができる。そのためには、単にステップ202、204、206、210だけが必要とされるであろう。相互接続線に関しては、ギャップ充填特性はそれほど重要でないが、ステップ204による更なる応力減少は、性能改善のために望ましい。

【図面の簡単な説明】

【図1A】

本発明による単純化された化学気相堆積(CVD)装置の一実施形態の縦断面図である。

【図1B】

図1のチャンバ内で処理される基板を保持するためにチャンバ内で使用される抵抗加熱セプタの一実施形態の縦断面図である。

【図1C】

一つ以上のチャンバを含むマルチチャンバ・システムにおけるシステム・モニタとCVDシステム100の単純化された図である。

【図1D】

ある特定の実施形態によるシステム制御ソフトウェアであるコンピュータ・プログラム170の階層的制御構造の例示的ブロック図である。

【図2】

本発明の好適な実施形態の各ステップを示す流れ図である。

【図3】

本発明に採用された基板の断面図である。

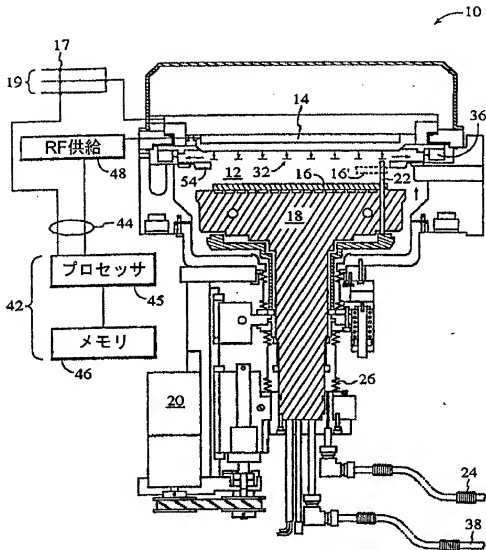
【図4】

基板上に置かれたギャップ充填高融点金属層を有する、図3に示す基板の断面図である。

【図5】

基板上に相互接続層を形成するバルク堆積の追加ステップを含む、図2に示した方法を説明する流れ図である。

【図1 A】



【図1B】

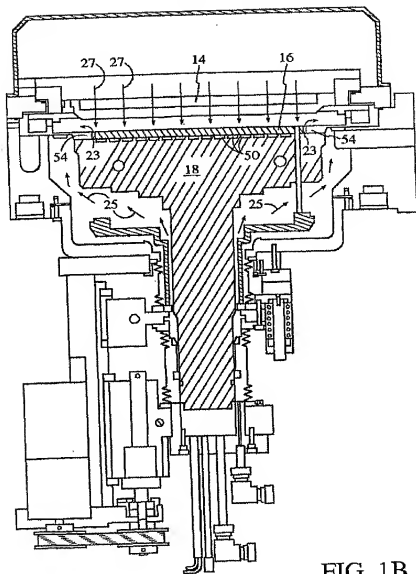
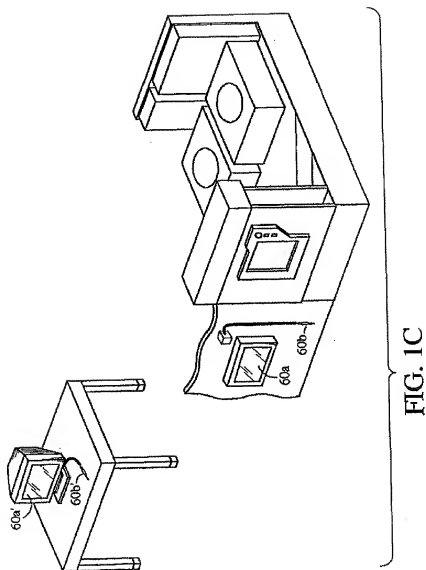
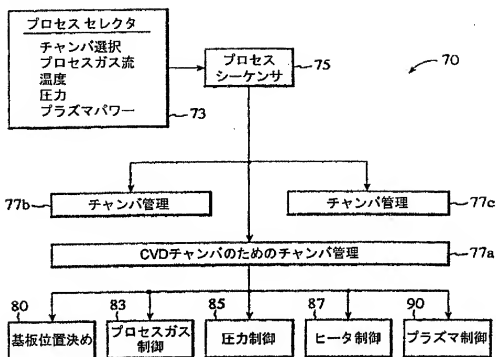


FIG. 1B

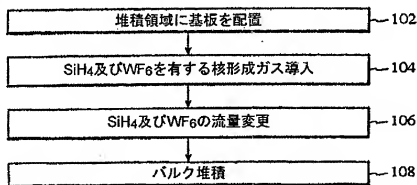
【図1C】



【図1D】



【図2】



【図3】

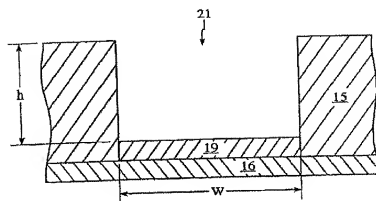


FIG. 3

【図4】

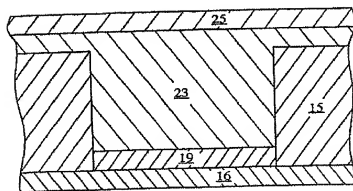
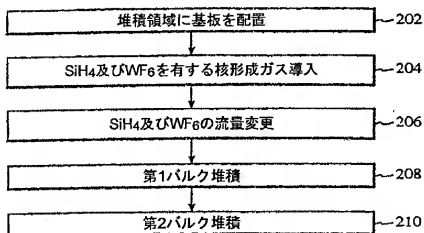


FIG. 4

【図5】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Int. Appl. No.
PCT/US 98/23632

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 C23C16/14 H01L21/205

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

 B. FIELD(S) SEARCHED
Minimum documentation required (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 C23C H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the field searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search formula used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passage	Relevant to claim No.
X Y A	EP 0 587 401 A (INMOS LTD) 16 March 1994 see column 4, line 26 - column 5, line 14	1-5, 8, 9 6 7
X Y	US 5 407 698 A (EMESH ISMAIL T) 18 April 1995 see example 1	10, 12 15
Y	US 5 643 632 A (LO YUNG-TSUNG) 1 July 1997 see table 1	6, 15
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 580 (E-1017), 25 December 1990 A JP 02 251139 A (FUJITSU LTD), 8 October 1990 see abstract	10, 19
	— / —	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may form double or priority claims or which is cited to establish the publication date of another claim or other special (prior) art (as specified)
 "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document submitted prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "I" later document published after the international filing date of priority date and in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be distinguished novel or cannot be considered to involve an inventive step over the document(s) taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document(s) combined with one or more other such documents, such combination being relevant to a person skilled in the art.
 "S" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 February 1999

Date of mailing of the international search report

02/03/1999

 Name and mailing address of the ISA
 European Patent Office, P.O. Box 5010 Postfach 2
 NL - 2250 HH Rijswijk
 Tel: (+31-70) 340-2010, Tx: 31 651 apo nl
 Fax: (+31-70) 340-2016

 Authorized officer
 Ekhuylt, H

Form PCT/ISA/210 is issued when (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Int. Patent Application No.
PCT/US 98/23532

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 104 (E-1178), 13 March 1992 & JP 03 280545 A (NEC CORP), 11 December 1991 see abstract	18, 19
A	EP 0 437 110 A (LSI LOGIC CORP) 17 July 1991 see claims 24-28	20
A	US 5 272 112 A (SCHMITZ JOHANNES J ET AL) 21 December 1993 see column 6, line 14 - column 7, line 65	10-17
P, X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 006, 30 April 1998 & JP 10 032248 A (YAMAHA CORP), 3 February 1998 see abstract	18, 19

Form PCT/ISA118 (continuation of annex sheet C-I) July 1999

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Search Application No.

PCT/US 98/23632

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0587401 A	16-03-1994	JP 6291084 A	18-10-1994
US 5407698 A	18-04-1995	CA 2067565 A	30-10-1993
US 5643632 A	01-07-1997	NONE	
EP 0437110 A	17-07-1991	JP 4226029 A	14-08-1992
		US 5681613 A	28-10-1997
		US 5123375 A	23-06-1992
		US 5180432 A	19-01-1993
		US 5391394 A	21-02-1995
		US 5203956 A	28-04-1993
		US 5211796 A	18-05-1993
		US 5853804 A	29-12-1998
US 5272112 A	21-12-1993	NONE	

フロントページの続き

(72)発明者 マハジャニ、 メイトレイー
アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、
サン ノゼ、 ブリスベン コート 7173
Fターム(参考) 4K030 AA04 AA06 BA20 BA30 FA03
HA01 JA01 JA05 JA06 JA09
JA10 KA41 LA15
4M104 BB18 DD44 DD45